

SINTESIS POLIEUGENOL DENGAN KATALIS BF_3 DIETIL ETER DAN H_2SO_4 UNTUK EKSTRAKTAN LOGAM BERAT

M. Cholid Djunaidi, R. Ariadi L, Nindya G. Kartikawati
Jurusan Kimia Universitas Diponegoro Semarang

Email: abi_fifa@yahoo.com

ABSTRAK

Eugenol dalam minyak cengkeh, yang mempunyai tiga gugus aktif yaitu alil, hidroksi, dan metoksi, dapat dipolimerisasi menjadi polieugenol. Polieugenol dapat dimanfaatkan sebagai senyawa pembawa dalam metode pemisahan logam. Polimerisasi eugenol menjadi polieugenol dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan katalis H_2SO_4 pekat dan BF_3 -dietileter. Logam-logam yang akan dipisahkan dengan polieugenol sebagai senyawa pembawa adalah Cr^{3+} , Cu^{2+} , dan Cd^{2+} .

Hasil penelitian menunjukkan bahwa 5,0378 gram eugenol yang disintesis dengan katalis asam sulfat pekat menghasilkan 1,7998 gram polieugenol. Polieugenol tersebut mempunyai berat molekul 50850,4 (310 monomer). Dalam pemanfaatannya sebagai senyawa pembawa, logam yang tertransportasi lebih banyak adalah Cd, diikuti Cu, dan Cr (dengan persen transport masing-masing 54,94%; 43,44%; dan 40,75%). Sedangkan 5,0193 gram eugenol yang disintesis dengan katalis BF_3 -dietileter menghasilkan 3,2837 gram polieugenol. Polieugenol tersebut mempunyai berat molekul 6323,65 (38 monomer). Untuk pemanfaatannya sebagai membran, diperoleh data bahwa logam yang tertransportasi lebih banyak adalah Cr, diikuti Cd, dan Cu (dengan persen transport masing-masing 15,68%; 10,70%; dan 5,69%).

Kata kunci : Eugenol, Polieugenol, pemisahan logam berat.

PENDAHULUAN

Eugenol merupakan komponen kimia utama dalam minyak daun cengkeh yakni kurang lebih 70% hingga 90% volume. Eugenol yang terkandung dalam minyak daun cengkeh, memiliki tiga gugus aktif, yaitu alil, hidroksil, dan metoksi. Dengan tiga gugus aktif tersebut, eugenol berpeluang untuk dikembangkan, salah satunya untuk senyawa pembawa (*carrier*). Melalui gugus hidroksil, eugenol dapat dimanfaatkan sebagai penukar kation, tetapi karena gugus alil yang relatif pendek dan kurangnya sifat non polar, eugenol mempunyai keterbatasan fungsi *carrier*, sehingga perlu dilakukan polimerisasi. Polimerisasi ini dapat dilakukan melalui gugus alil yang dimiliki eugenol. Polimerisasi terhadap

eugenol, menghasilkan polieugenol yang mulai dikembangkan dan dimanfaatkan secara luas (Handayani dan Wuryati, 2001). Dengan banyaknya gugus aktif -OH yang dimiliki polieugenol, diharapkan polieugenol mampu mengikat logam-logam yang sesuai secara selektif.

Pada penelitian ini disintesis polieugenol mudah, hal ini dilatarbelakangi oleh mudah diubahnya gugus hidroksi menjadi gugus fingsi yang lebih selektif terhadap logam dengan cara sintesis, dan terbukanya gugus alil untuk dipolimerkan.

ALAT DAN BAHAN

ALAT: satu set alat ekstraksi tabung U, alat gelas, NMR ^1H 60 Juol, viskosimeter Ubbelohde, AAS.

BAHAN: Eugenol (Merck), BF_3 dietil eter (SIGMA Aldrich), H_2SO_4 pekat, metanol, kloroform teknis, dietil eter.

METODE

Prosedur Sintesis Polieugenol

Sintesis Polieugenol dengan katalis BF_3 dietil eter

5 gram eugenol dimasukkan dalam labu leher tiga kemudian ditambahkan 0,5 mL BF_3 -dietileter. Campuran diaduk menggunakan *stirer* selama 1 jam dan setiap 1 jam sekali dilakukan penambahan BF_3 -dietileter sebanyak 0,5 mL selama 3 jam. Setelah reaksi tersebut berlangsung selama 4 jam, polimerisasi dihentikan dengan menambahkan 1 mL metanol. Gel yang terbentuk kemudian dilarutkan dengan dietileter dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Larutan tersebut kemudian dikeringkan dengan menambahkan Na_2SO_4 anhidrat. Setelah benar-benar bebas dari air, larutan diuapkan pada suhu kamar. Endapan yang terbentuk dilarutkan dengan akuades, dikeringkan dan ditimbang. Hasil yang didapat dianalisis dengan FTIR dan NMR ^1H dan dilakukan penentuan berat molekul relatif polimer dengan metode viscometer Ubbelohde.

Sintesis Polieugenol dengan Katalis H_2SO_4 Pekat

5 gram eugenol dimasukkan dalam labu leher tiga kemudian ditambahkan 0,25 mL H_2SO_4 pekat. Campuran diaduk menggunakan *stirer* selama 0,5 jam. Penambahan H_2SO_4 pekat dilakukan setiap 0,5 jam sekali selama 1,5 jam. Setelah H_2SO_4

pekat yang ditambahkan mencapai 1 mL, campuran diaduk selama 2 jam tanpa penambahan H_2SO_4 pekat. Setelah reaksi tersebut berlangsung selama 4 jam, polimerisasi dihentikan dengan menambahkan 1 mL metanol. Gel yang terbentuk kemudian dilarutkan dengan dietileter dan dicuci dengan akuades hingga pH netral. Larutan tersebut kemudian dikeringkan dengan menambahkan Na_2SO_4 anhidrat. Setelah benar-benar bebas dari air, larutan diuapkan pada suhu kamar. Endapan yang terbentuk dilarutkan dengan akuades, dikeringkan dan ditimbang.

Pengukuran Berat Molekul Polieugenol

Sebanyak 1 gram polieugenol dilarutkan dalam 25 mL metanol, dan dibuat variasi konsentrasi larutan melalui pengenceran dengan metanol: 0,04 g/mL; 0,016 g/mL; dan 0,008 g/mL. Kemudian dilakukan pengukuran waktu alir pelarut murni, yaitu metanol (t_0) dan masing-masing larutan polieugenol menggunakan viskometer, sehingga diperoleh t_0 , t_1 , t_2 , dan t_3 . Melalui perhitungan, diperoleh viskositas relatif (η_{rel}) dan viskositas spesifik (η_{sp}). Kemudian dibuat kurva viskositas tereduksi dengan konsentrasi. Selanjutnya grafik tersebut diekstrapolasi ke konsentrasi nol, sehingga akan diperoleh viskositas intrinsik. Dengan persamaan Mark-Houwink-Sakurada $[\eta] = K M_v^a$ (Rosenthal, 1990), maka dapat dihitung massa molekul relatif polieugenol dengan harga $K = 11 \times 10^{-3}$ dan $a = 0,725$ (Brandrup, 1975).

Pengambilan Logam Berat dalam Larutan Simulasi

0,5 gram polieugenol yang telah dilarutkan dalam 30 mL kloroform dimasukkan dalam tabung U. Di sisi kiri tabung ditambahkan 13 mL fase umpan (larutan simulasi siap uji) dan di sisi kanan tabung ditambahkan 13 mL fase penerima (HCl pH 1). Dilakukan pengadukan selama 24 jam. Setelah 24 jam, dilakukan pengecekan pH dan penentuan konsentrasi logam yang tersisa dengan AAS.

HASIL DAN DISKUSI

Sintesis Polieugenol

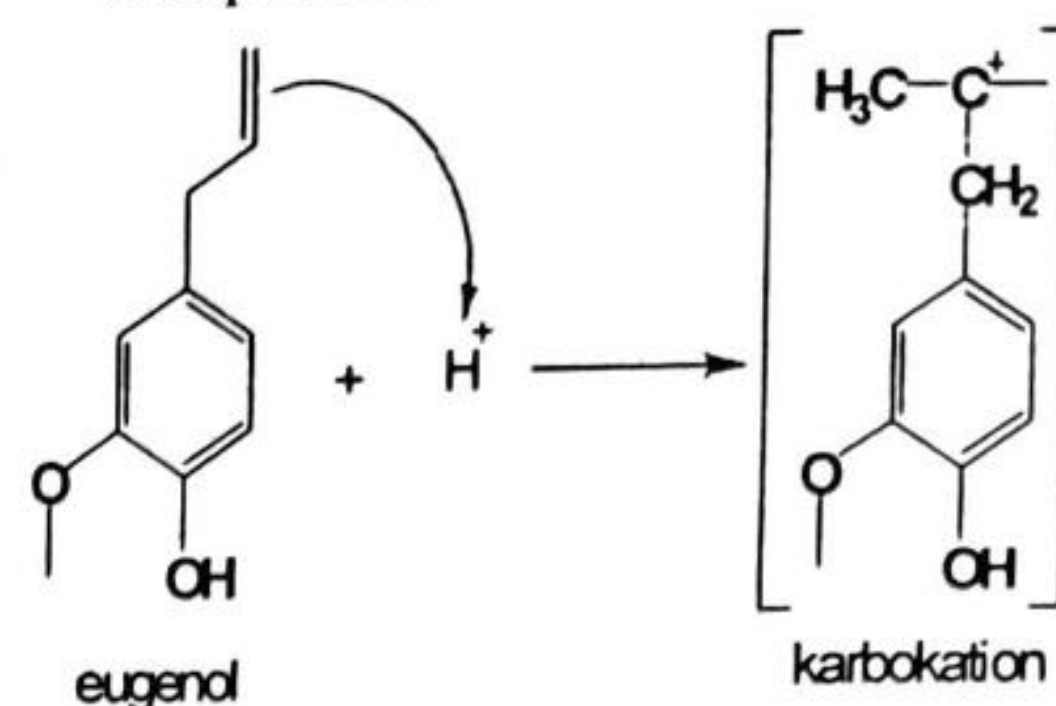
Sintesis polieugenol dilakukan dengan menambahkan katalis H_2SO_4 pekat dan BF_3 -dietileter. Polieugenol hasil sintesis dengan katalis H_2SO_4 pekat berbentuk padat dengan berat 1,7998 gram, berwarna coklat tua dengan titik leleh berkisar antara $78^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$. Sedangkan polieugenol hasil sintesis dengan katalis BF_3 -dietileter berbentuk padat dengan berat 3,2837 gram, berwarna coklat dengan titik leleh berkisar antara $75^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$. Polieugenol-polieugenol tersebut mempunyai sifat larut dalam eter, metanol,

kloroform, benzena, dan etil asetat serta tidak larut dalam kerosen.

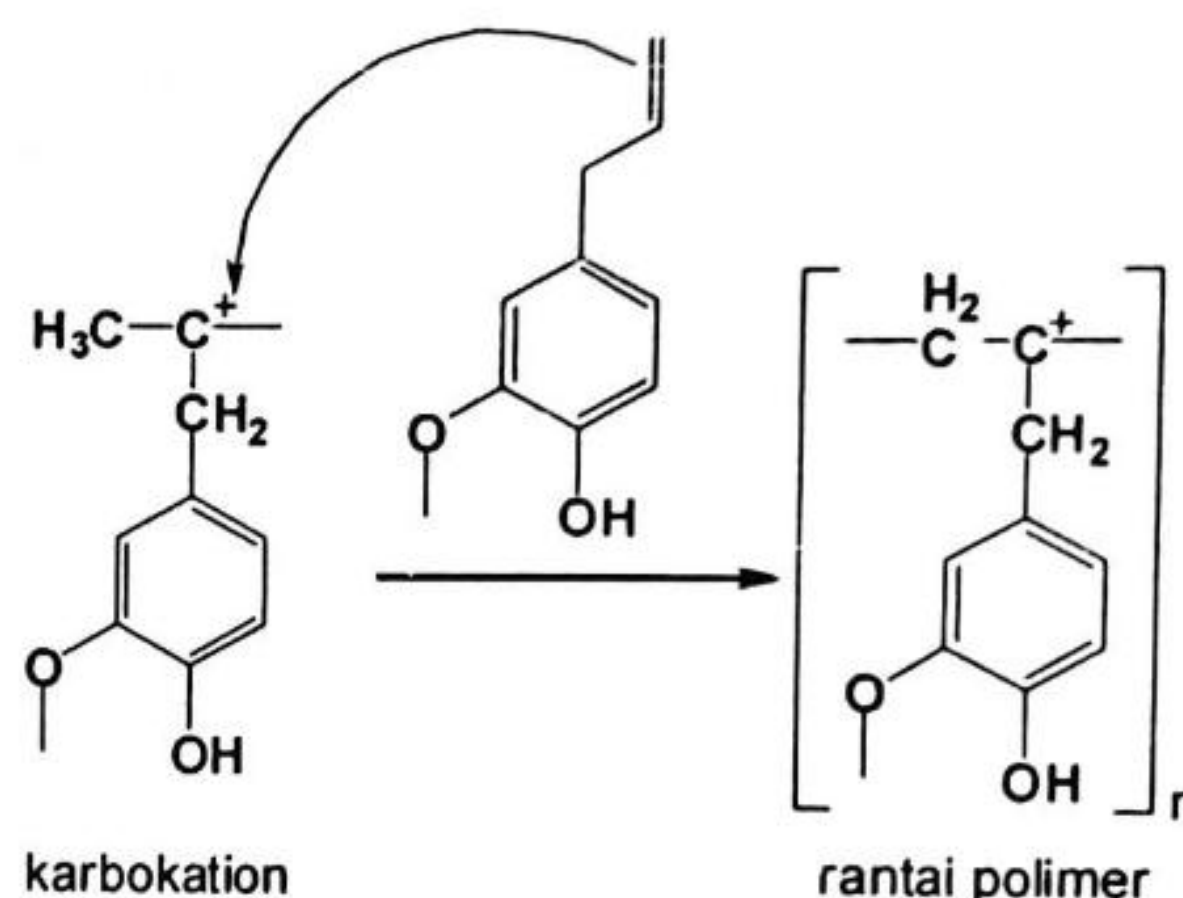
Proses polimerisasi eugenol menjadi polieugenol merupakan proses polimerisasi adisi kationik. Proses ini dikatakan polimerisasi adisi kationik karena gugus vinil dari eugenol mengalami reaksi adisi.

Hal tersebut dapat dilihat melalui mekanisme reaksi berikut ini:

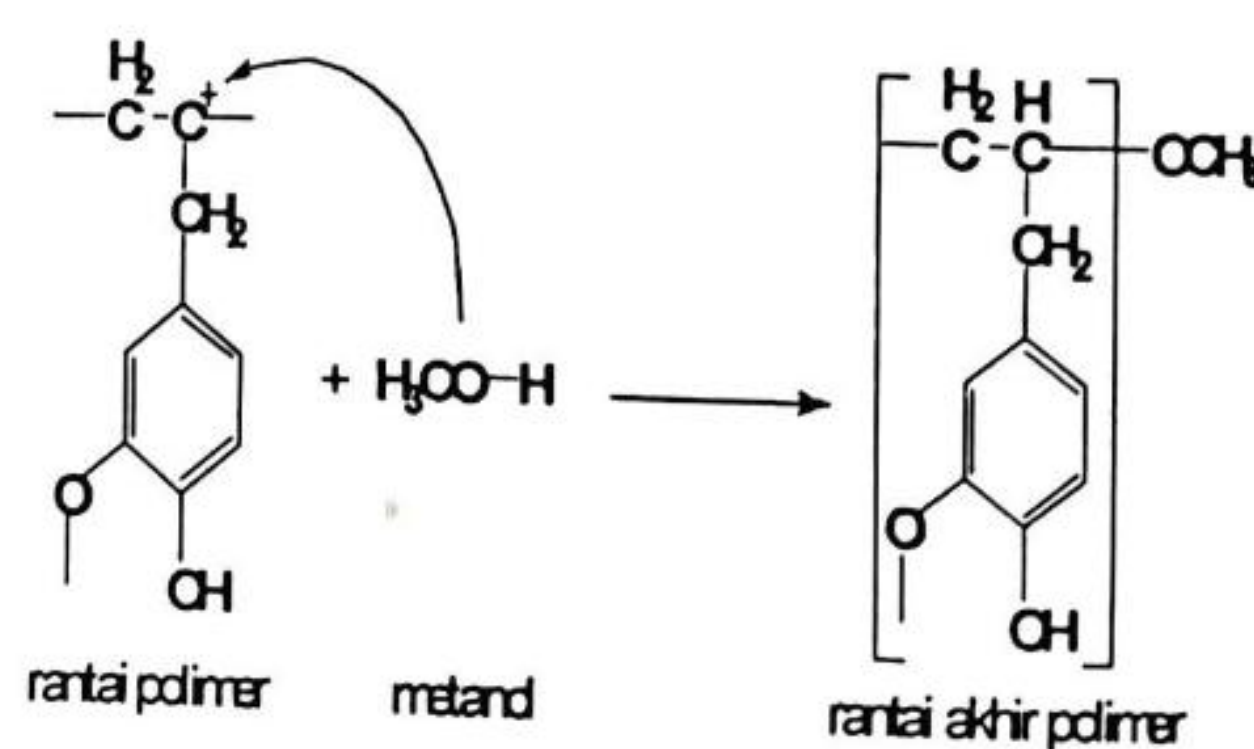
1. Tahap inisiasi



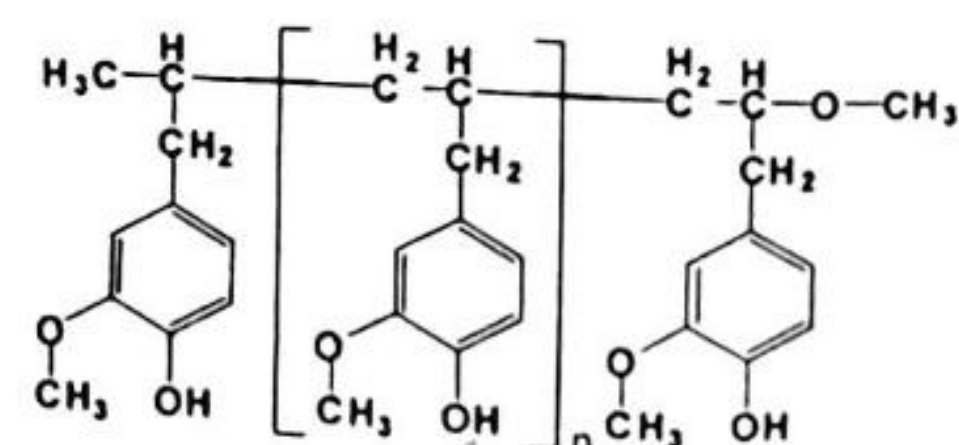
2. Tahap propagasi



3. Tahap terminasi



Jadi polimer yang terbentuk adalah sebagai berikut:



Pada tahap inisiasi, katalis asam, menyebabkan terjadinya reaksi adisi, sehingga gugus alil yang dimiliki oleh eugenol mengalami

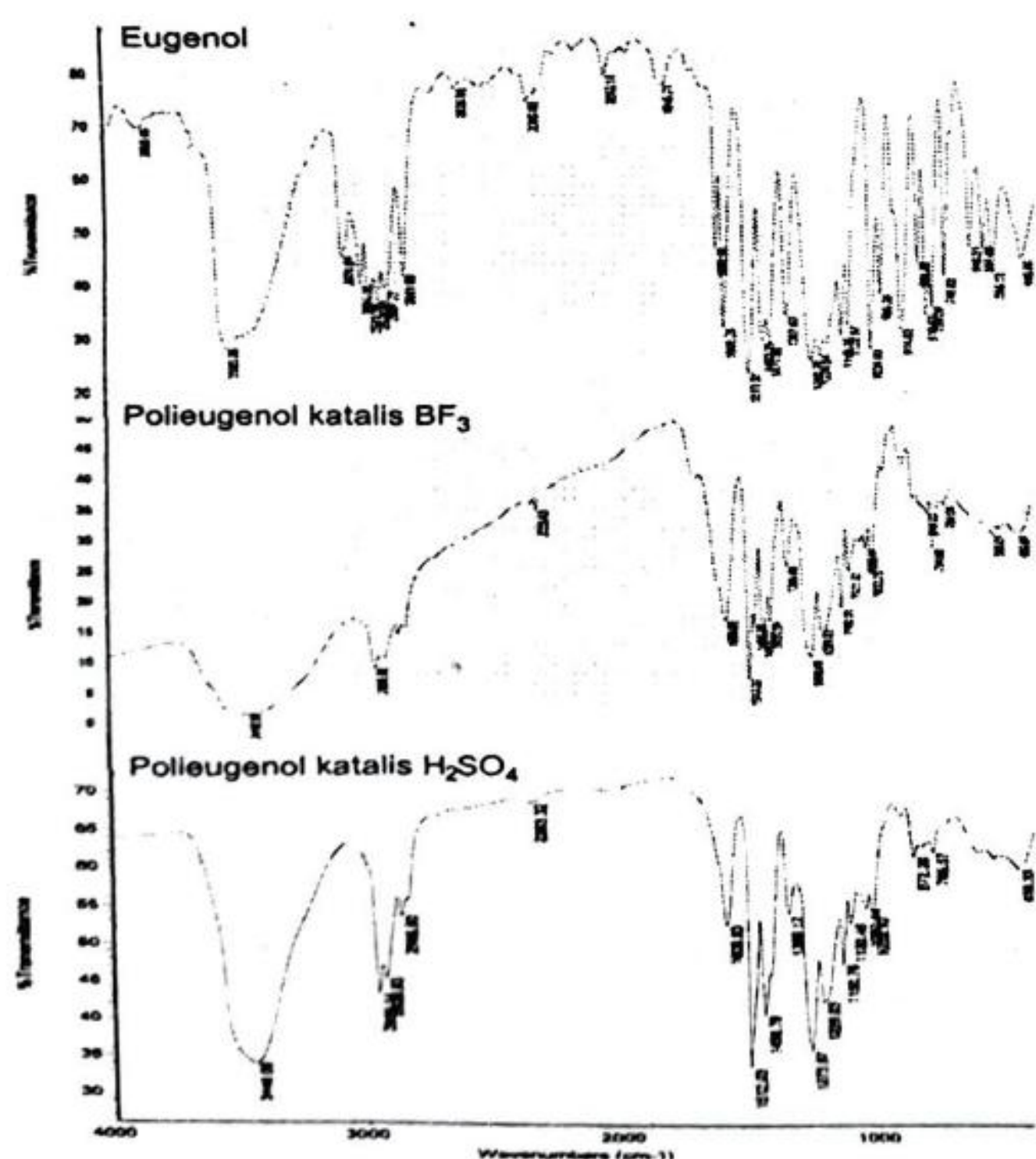
pemutusan ikatan rangkap. Pemutusan ikatan rangkap ini dapat terjadi karena proton (H^+) dialihkan dari asam (katalis) ke monomer eugenol, sehingga terbentuk karbokation. Hal ini ditandai dengan perubahan warna yang terjadi, yaitu dari kuning jernih berubah menjadi kecoklatan. Adisi yang terjadi pada tahap ini mengikuti hukum Markovnikov, yaitu stabilitas karbokation yang terbentuk merupakan faktor utama penentu reaktivitas monomer.

Pada tahap propagasi, terjadi pembentukan rantai dari monomer eugenol. Proses ini berkelanjutan sampai diperoleh rantai polimer yang panjang.

Pada tahap akhir atau lebih dikenal dengan tahap terminasi, dilakukan penambahan metanol untuk menghentikan proses polimerisasi. Dengan penambahan metanol maka diharapkan ujung akhir dari polimer tersebut adalah gugus metoksi.

Setelah proses polimerisasi selesai dilakukan, polieugenol yang terbentuk dilarutkan dalam dietileter dan dilakukan pencucian dengan akuades. Tujuan dari pencucian ini adalah untuk mendapatkan kembali katalis yang digunakan. Akuades yang tersisa pada polieugenol dihilangkan dengan menambahkan Na_2SO_4 anhidrat. Polieugenol yang telah kering (bebas dari akuades dan telah diuapkan pada suhu kamar) dilarutkan dalam akuades. Endapan yang terbentuk disaring dan ditimbang, kemudian dianalisis dengan FT-IR.

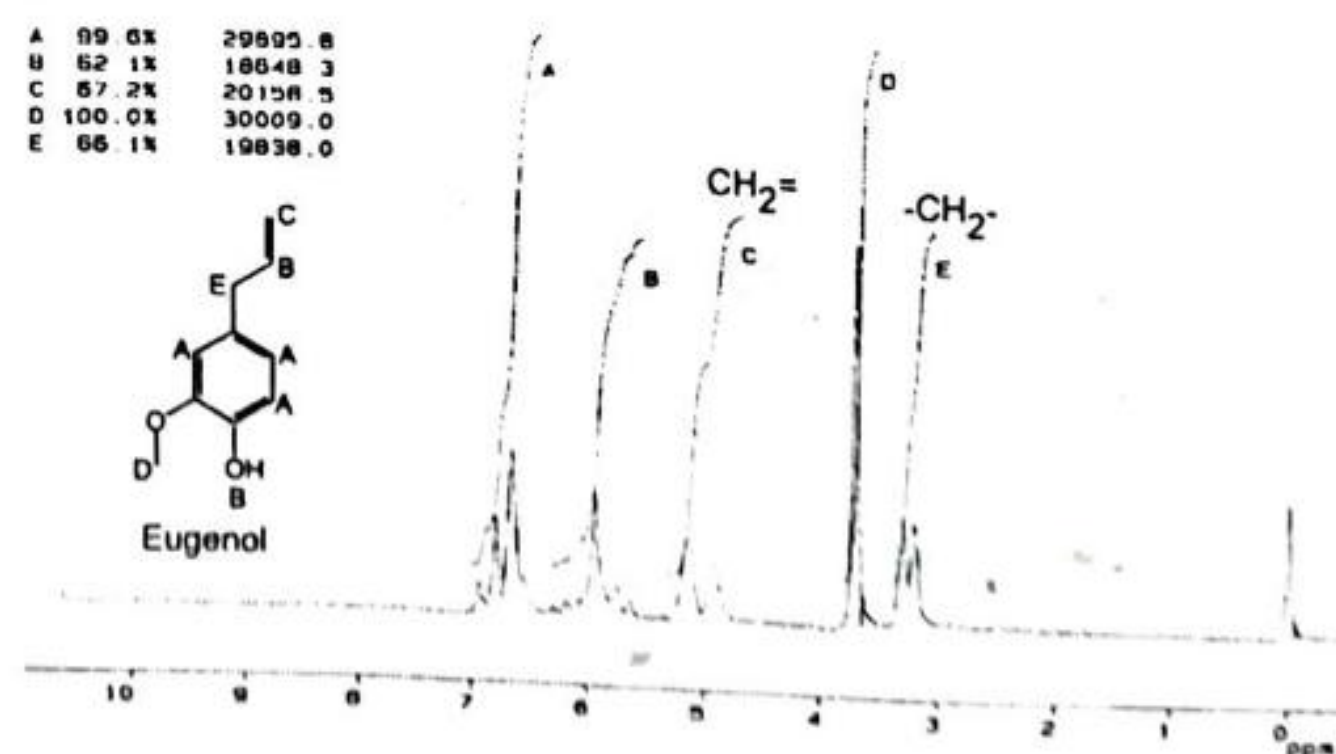
Hasil polimerisasi eugenol menjadi polieugenol tampak pada spektra FT-IR berikut ini:



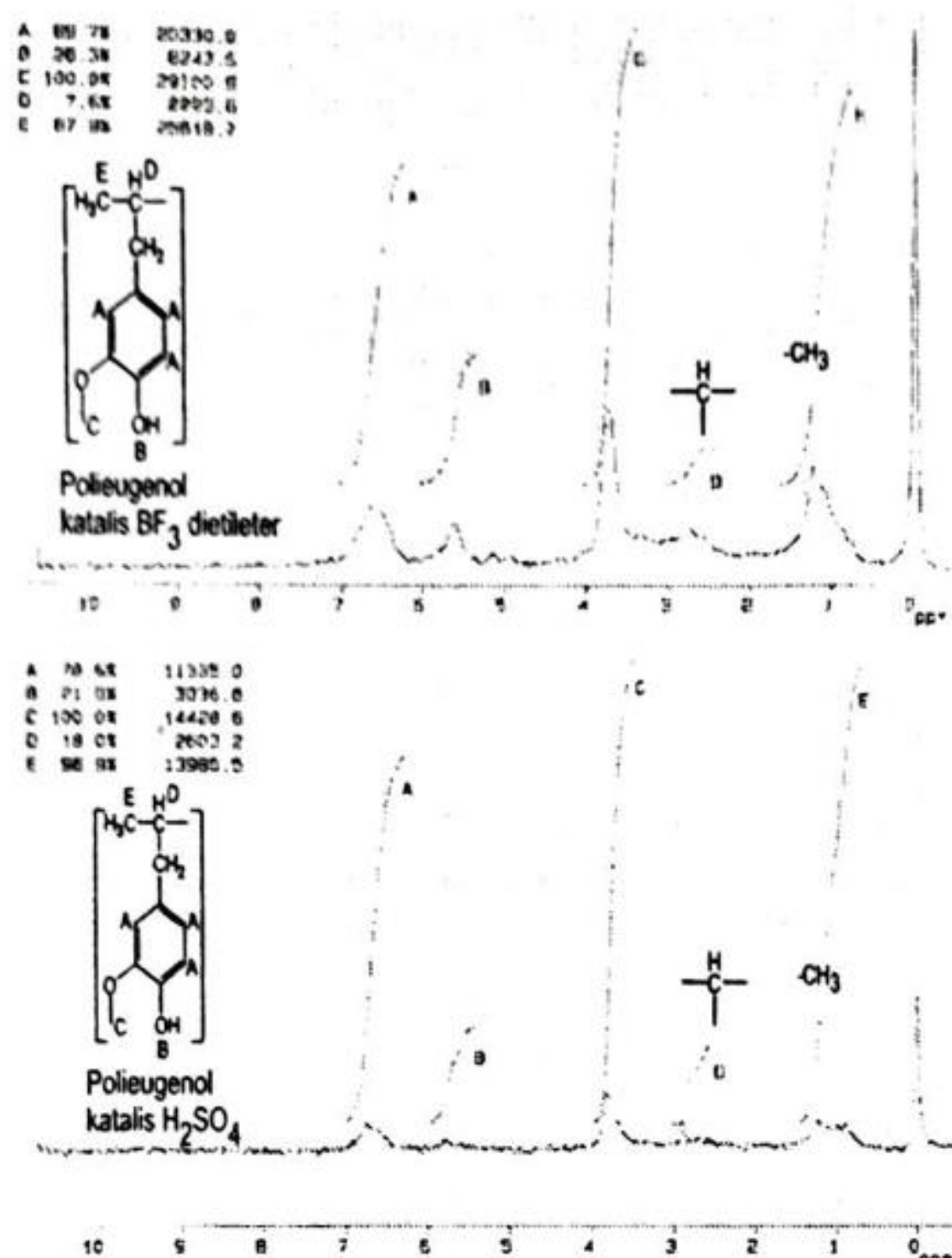
Gambar 1. Spektra FT-IR Eugenol dan Polieugenol Hasil Sintesis

Pada eugenol tampak serapan $1608,25 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya senyawa aromatik. Demikian pula pada polieugenol hasil sintesis. Pada polieugenol hasil sintesis dengan katalis H_2SO_4 pekat, tampak serapan senyawa aromatis pada bilangan gelombang $1606,86 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan polieugenol hasil sintesis dengan katalis BF_3 -dietileter tampak serapan senyawa aromatis pada bilangan gelombang $1603,93 \text{ cm}^{-1}$. Adanya senyawa aromatis pada eugenol diperkuat oleh serapan pada bilangan gelombang $793,09 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya senyawa aromatis tersubstitusi para (gugus $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-$) dan pada bilangan gelombang $818,53 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya senyawa aromatis tersubstitusi meta (gugus $-\text{OCH}_3$), demikian pula pada polieugenol hasil sintesis. Pada polieugenol hasil sintesis dengan katalis H_2SO_4 pekat, adanya senyawa aromatis tersubstitusi para muncul pada bilangan gelombang $795,57 \text{ cm}^{-1}$ dan adanya senyawa aromatis tersubstitusi meta muncul pada bilangan gelombang $872,26 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan pada polieugenol hasil sintesis dengan katalis BF_3 -dietileter, adanya senyawa aromatis tersubstitusi para muncul pada bilangan gelombang $794,69 \text{ cm}^{-1}$ dan adanya senyawa aromatis tersubstitusi meta muncul pada bilangan gelombang $816,72 \text{ cm}^{-1}$. Hal yang sama tampak untuk gugus $-\text{OH}$ pada eugenol dan polieugenol. Pada eugenol gugus $-\text{OH}$ muncul pada serapan $3525,35 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan pada polieugenol yang disintesis dengan katalis H_2SO_4 pekat gugus OH muncul pada serapan $3446,00 \text{ cm}^{-1}$ dan pada polieugenol yang disintesis dengan katalis BF_3 -dietileter, gugus OH muncul pada serapan $3452,29 \text{ cm}^{-1}$. Pergeseran ini dapat terjadi karena adanya ikatan hidrogen pada gugus $-\text{OH}$.

Perbedaan antara eugenol dengan polieugenol hasil sintesis adalah adanya serapan yang muncul pada panjang gelombang $914,83 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus vinil yang ada pada eugenol, tetapi serapan yang sama tidak muncul pada polieugenol. Hal ini menunjukkan bahwa eugenol telah berubah menjadi polieugenol. Hal ini diperkuat oleh analisa NMR ^1H terhadap eugenol dan polieugenol. Spektra NMR ^1H tersebut tampak seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2. Spektra NMR ^1H Eugenol



Gambar 3. Spektra NMR ^1H Polieugenol Hasil Sintesis

Pada eugenol tampak pergeseran kimia 4,75 – 5,2 ppm, *doublet*, yang menunjukkan adanya gugus $\text{CH}_2=$, sedangkan pada polieugenol pergeseran kimia tersebut tidak tampak. Pada polieugenol muncul spektrum baru antara 2,4 – 3,0 ppm yang menunjukkan adanya gugus $-\text{CH}-$ pada polimer. Munculnya sinyal baru dengan harga pergeseran kimia 0,7 – 1,5 ppm merupakan karakteristik dari tiga atom hidrogen pada gugus metil (CH_3-) pada tulang punggung polimer. Hasil analisis yang sama juga didapat oleh Handayani (2001). Jadi dapat disimpulkan bahwa reaksi polimerisasi eugenol telah terjadi.

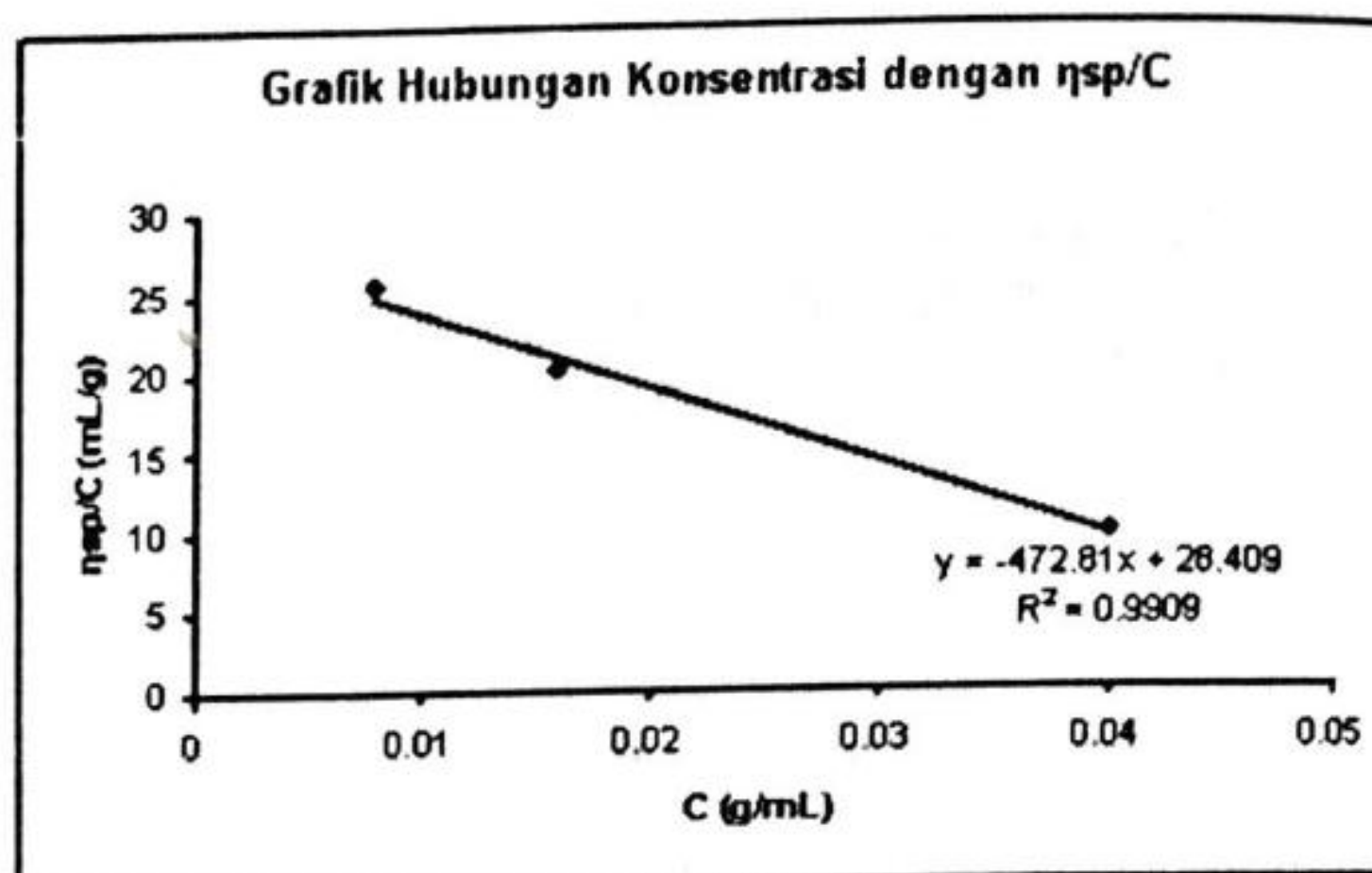
Pengukuran Berat Molekul Polieugenol

Berat molekul polieugenol diukur dengan metode viskometri menggunakan viskometer Ubbelohde. Polieugenol yang telah dilarutkan dalam metanol dan dibuat dalam berbagai variasi konsentrasi, diukur waktu alirnya, sehingga didapatkan t_1 , t_2 , dan t_3 untuk masing-masing polieugenol. Metanol sebagai pelarut juga diukur waktu alirnya, sehingga didapat t_0 . Dari ketiga data waktu alir tersebut dapat dibuat grafik hubungan konsentrasi dengan η_{sp}/C , sehingga η_{rel} dan η_{sp} dapat dihitung dan jumlah monomer yang menjadi polimer dapat diketahui.

Untuk polieugenol hasil sintesis dengan katalis H_2SO_4 pekat, didapat data sebagai berikut:

Tabel 1. Data Waktu Alir Metanol dan Polieugenol Hasil Sintesis dengan Katalis H_2SO_4 Pekat

t_0 (s)	t (s)	η_{sp}	C (g/mL)	η_{sp}/C (mL/g)
116,492	140,028	0,202	0,008	25,255
116,492	153,782	0,320	0,016	20,007
116,492	161,720	0,388	0,040	9,706



Gambar 4. Gambar Grafik Hubungan Konsentrasi dengan $\eta_{sp}/\text{Konsentrasi}$ pada Polieugenol Hasil Sintesis dengan Katalis H_2SO_4 Pekat

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai η_{sp} semakin besar jika konsentrasi polieugenol semakin besar. Dengan persamaan Mark-Houwink-Sakurada $[\eta] = KM_v^a$ (Rosenthal, 1990), didapat bahwa $[\eta] = \text{intersep}$, maka $[\eta] = 28,409$. Apabila harga $K = 11 \times 10^{-3}$ dan $a = 0,725$ (Brandrup, 1975), maka:

$$M_v = \exp \frac{(\ln 28,409 - \ln 0,011)}{0,725}$$

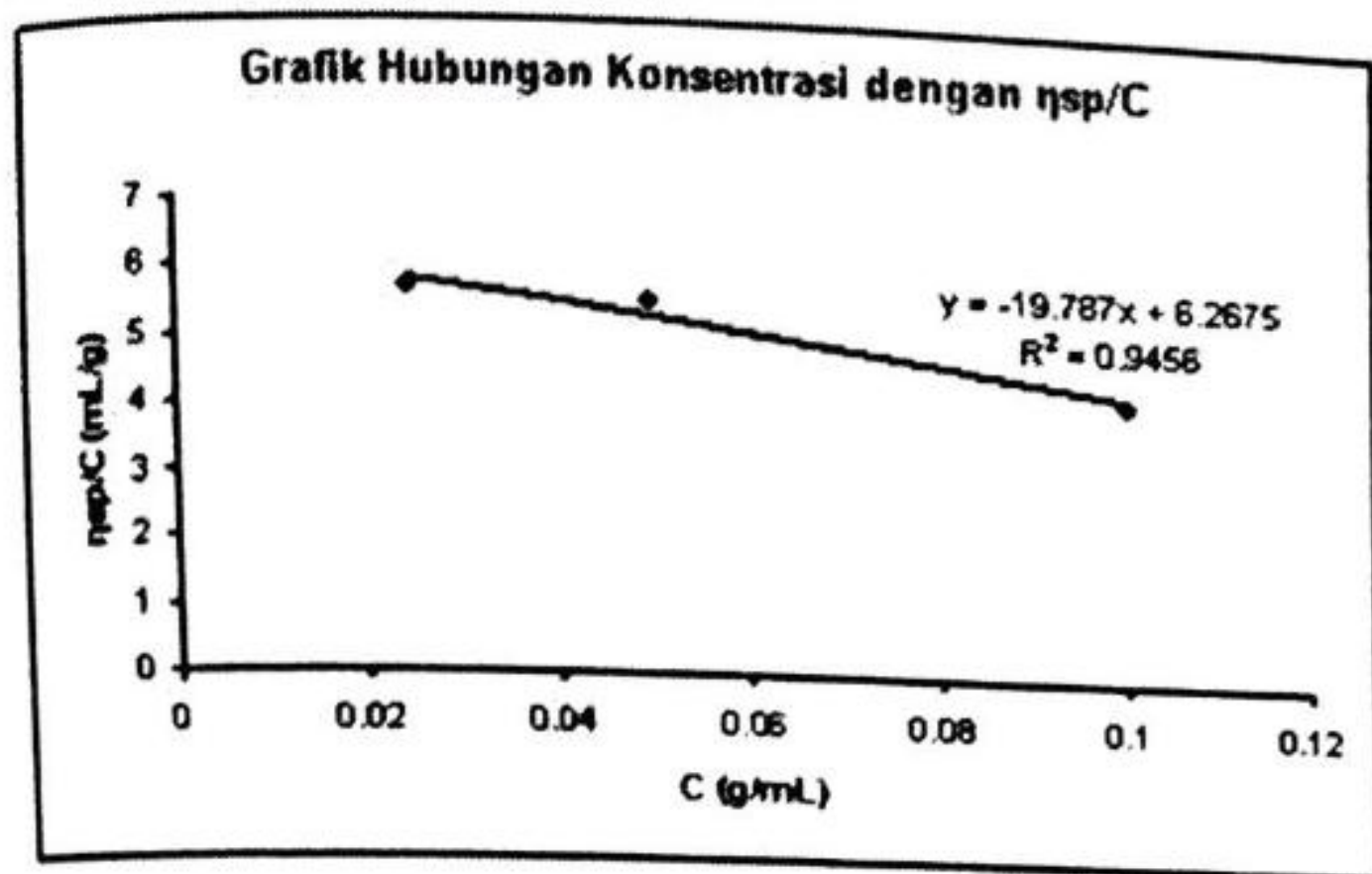
$$M_v = 50850,4$$

Bila M_r eugenol = 164,2; maka dapat diketahui bahwa monomer eugenol yang menjadi polieugenol adalah sebanyak $\frac{50850,4}{164,2} = 309,686 \approx 310$ monomer.

Sedangkan untuk polieugenol hasil sintesis dengan katalis BF_3 -diethyl eter, didapat data sebagai berikut:

Tabel 2. Data Waktu Alir Metanol dan Polieugenol Hasil Sintesis dengan Katalis BF_3 -diethyl eter

t_0 (s)	t (s)	η_{sp}	C (g/mL)	η_{sp}/C (mL/g)
117,974	134,596	0,141	0,025	5,636
117,974	150,320	0,274	0,050	5,484
117,974	167,762	0,422	0,100	4,220



Gambar 5. Gambar Grafik Hubungan Konsentrasi dengan $\eta_{sp}/\text{Konsentrasi}$ pada Polieugenol Hasil Sintesis dengan Katalis BF_3 -dietileter

Harga $[\eta] = 6,2675$. Apabila harga $K = 11 \times 10^{-3}$ dan $a = 0,725$ (Brandrup, 1975), maka:

$$Mv = \exp^{\frac{(\ln 6,2675 - \ln 0,011)}{0,725}} \rightarrow Mv = 6323.65$$

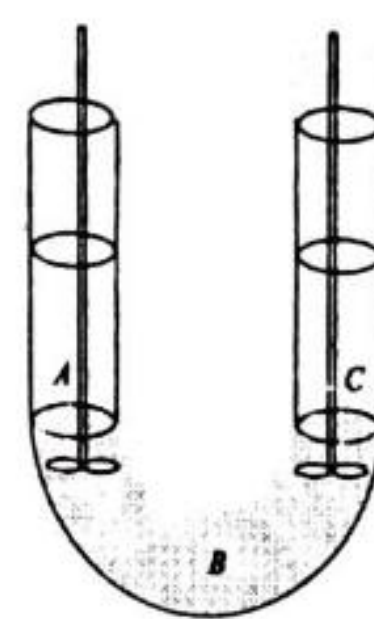
Bila Mr eugenol = 164,2; maka dapat diketahui bahwa monomer eugenol yang menjadi polieugenol adalah sebanyak:

$$\frac{6323,65}{164,2} = 38,512 \approx 38 \text{ monomer.}$$

Perbedaan hasil yang diperoleh kemungkinan disebabkan karena perbedaan penambahan katalis yang dilakukan. Pada polieugenol yang disintesis dengan katalis H_2SO_4 pekat penambahan katalis dilakukan pada 2 jam pertama, setiap 30 menit sebanyak 0,25 mL. Cara ini sama dengan yang dilakukan oleh Handayani (2001). Sedangkan pada polieugenol yang disintesis dengan katalis BF_3 -dietileter, penambahan katalis dilakukan setiap 1 jam sebanyak 0,5 mL (Bettie, 1998).

Pemisahan Logam Berat dari Larutan Limbah Simulasi dengan Teknik BLM (*Bulk Liquid Membrane*)

Pemisahan logam berat dari larutan limbah simulasi dapat dilakukan dengan teknik BLM (*Bulk Liquid Membrane*), yaitu dengan mengontakkan fase umpan dengan fase membran dan fase membran dengan fase penerima pada sebuah tabung U. Fase umpan yang merupakan campuran logam Cr^{3+} , Cu^{2+} , dan Cd^{2+} dikontakkan dengan fase membran yang merupakan larutan polieugenol (0,5 g polieugenol dalam 30 mL kloroform). Kemudian fase membran dikontakkan dengan fase penerima yang merupakan larutan HCl. Setelah dilakukan pengadukan selama 24 jam maka akan dapat diketahui transpor logam yang terjadi melalui perubahan pH.



Keterangan gambar:

A = Fase umpan adalah campuran logam (Cr^{3+} , Cu^{2+} , dan Cd^{2+}) pH 3

B = Fase membran (0,5 g polieugenol yang dilarutkan dalam 30 mL kloroform)

C = Fase penerima adalah HCl pH 1

Gambar 6. Gambar Skema Alat BLM (*Bulk Liquid Membrane*)

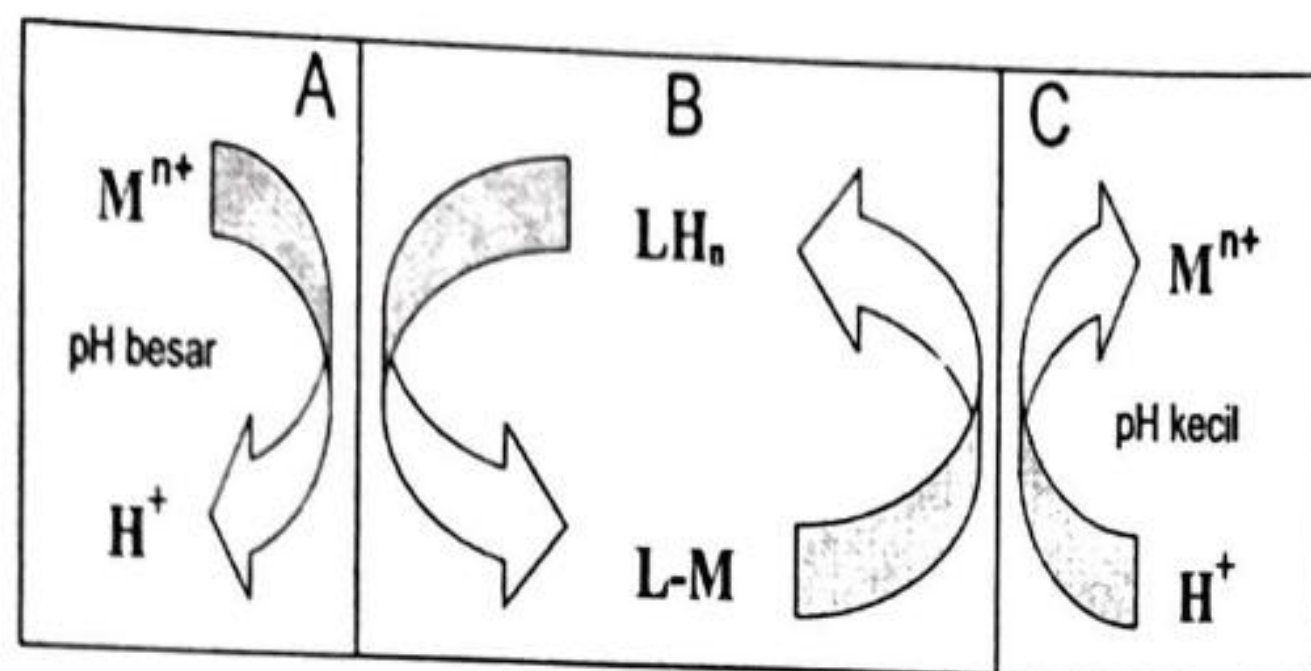
Tabel 3. Data Perubahan pH pada Fase Umpan dan Fase Penerima (Transpor dengan Polieugenol Hasil Sintesis dengan Katalis H_2SO_4 Pekat)

pH Fase Umpan		pH Fase Penerima	
Mula-Mula	24 Jam	Mula-Mula	24 Jam
3,57	1,52	1,00	1,39
3,45	1,35	0,98	1,11

Tabel 4. Data Perubahan pH pada Fase Umpan dan Fase Penerima (Transpor dengan Polieugenol Hasil Sintesis dengan Katalis BF_3 -dietileter)

pH Fase Umpan		pH Fase Penerima	
Mula-mula	24 Jam	Mula-mula	24 Jam
3,45	2,40	0,98	2,12

Dari data perubahan pH maka dapat diketahui bahwa transpor logam telah terjadi. Perubahan pH ini disebabkan karena adanya mekanisme pertukaran ion logam dari fase umpan dengan ion H^+ dari fase penerima. Fase umpan yang berisi campuran ion logam, akan berikatan dengan *carrier* dalam membran. Kemudian, ion-ion logam tersebut akan dibawa oleh *carrier* menuju fase penerima. Logam akan dilepaskan di fase penerima dan dipertukarkan dengan ion H^+ yang ada di fase penerima. Setelah itu, *carrier* kembali lagi ke fase umpan, menukar dan mengambil kembali ion logam di fase umpan. Demikian proses ini terjadi secara terus menerus, sehingga pH fase umpan yang semula 3 akan berubah menjadi lebih asam.



Keterangan gambar:

A = Fase umpan M = *Metal* (logam)
n = muatan logam

B = Fase membran H = Hidrogen

C = Fase penerima L = Ligan

Gambar 7 Mekanisme Pertukaran Ion pada Fase Umpan dan Fase Penerima

Untuk mengetahui berapa besar transpor ion logam yang terjadi, setelah pengadukan selama 24 jam, dilakukan pengukuran konsentrasi logam dengan AAS baik pada fase umpan maupun fase penerima.

Tabel 5 Data AAS pada Fase umpan dan Fase Penerima (Transpor dengan Polieugenol Hasil Sintesis dengan Katalis H₂SO₄ Pekat)

Ion Logam	Fase Umpan Mula-Mula (ppm)	Fase Penerima 24 Jam (ppm)	Persen Transpor (%)
Cr	4,1	1,6	39,02
	43,9	31,9	42,48
Cu	33,6	14,6	43,45
	49	36,4	43,43
Cd	17,3	9,6	55,49
	60,3	56,1	54,39

Tabel 6 Data AAS pada Fase umpan dan Fase Penerima (Transpor dengan Polieugenol Hasil Sintesis dengan Katalis BF₃-dietileter)

Ion Logam	Fase Umpan Mula-Mula (ppm)	Fase Penerima 24 Jam (ppm)	Persen Transpor (%)
Cr	34,7	5,3	15,68
Cu	57,7	3,2	5,69
Cd	40,3	4,2	10,70

Secara umum persen transpor yang lebih besar dilakukan oleh polieugenol hasil sintesis dengan katalis H₂SO₄ pekat. Hal ini disebabkan karena jumlah monomer yang membentuk polimer

dari polieugenol hasil sintesis dengan katalis H₂SO₄ pekat lebih banyak bila dibandingkan dengan jumlah monomer yang membentuk polimer dari polieugenol hasil sintesis dengan katalis BF₃-dietileter, yaitu 310 monomer.

Dari data tersebut diatas, juga dapat diketahui bahwa persen transpor terbesar untuk transpor dengan polieugenol hasil sintesis dengan katalis H₂SO₄ pekat adalah ion Cd²⁺, kemudian Cu²⁺, dan Cr³⁺ sedangkan persen transpor terbesar untuk transpor dengan polieugenol hasil sintesis dengan katalis BF₃-dietileter adalah Cr³⁺, diikuti oleh Cd²⁺, dan Cu²⁺.

Pada transpor dengan polieugenol yang disintesis dengan katalis BF₃-dietileter, mekanisme transpor yang terjadi sesuai dengan prinsip HSAB (*Hard and Soft Acid and Bases*). Hal ini juga sesuai dengan penelitian yang sebelumnya telah dilakukan oleh Djunaidi (2006). Polieugenol mempunyai banyak gugus OH yang merupakan basa keras, dimana H⁺ dari gugus tersebut dapat dengan mudah dipertukarkan dengan kation lain. Dari ketiga logam yang dipisahkan, yang berasal dari golongan asam keras adalah Cr³⁺ (Peterson, 1996), sehingga polieugenol lebih banyak mentranspor ion Cr³⁺.

Perbedaan hasil yang diperoleh polieugenol yang disintesis dengan katalis H₂SO₄ pekat dan polieugenol yang disintesis dengan BF₃-dietileter, kemungkinan terletak pada jumlah monomer yang membentuk polimer. Pada polieugenol yang disintesis dengan katalis H₂SO₄ pekat, monomer yang membentuk polimer sebanyak 310 monomer, sedangkan pada polieugenol yang disintesis dengan BF₃-dietileter, monomer yang membentuk polimer sebanyak 38 monomer. Karena banyaknya monomer yang membentuk polimer pada polieugenol yang disintesis dengan katalis H₂SO₄ pekat, kemungkinan muncul efek *bulky*. Efek *bulky* ini menyebabkan posisi atom O saling berdekatan sehingga membentuk semacam *cavity*. Dengan terbentuknya *cavity*, maka ion yang mempunyai jari-jari yang lebih besar akan terperangkap lebih banyak daripada ion yang mempunyai jari-jari kecil. Diantara ketiga ion logam tersebut, jari-jari Cd²⁺ adalah yang paling besar (95 pm), kemudian Cu²⁺ (73 pm), dan Cr³⁺ (61,5 pm) (Greenwood, 1997), sehingga ion Cd²⁺ adalah yang paling besar tertranspor ke fasa penerima, disusul oleh Cu²⁺, dan Cr³⁺. Mekanisme ini mirip dengan mekanisme kerja ligan makrosiklik (Peterson, 1996).

KESIMPULAN DAN SARAN:

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa pemisahan logam berat dengan teknik BLM (*Bulk Liquid Membrane*) dapat dilakukan menggunakan polieugenol hasil sintesis.

Sintesis polieugenol dapat dilakukan menggunakan katalis H_2SO_4 pekat dan BF_3 -dietileter. Polieugenol hasil sintesis dengan katalis H_2SO_4 pekat yang dimanfaatkan untuk proses pemisahan logam berat memiliki urutan transpor Cd^{2+} , Cu^{2+} , dan Cr^{3+} dengan persen transpor masing-masing 54,94%, 43,44%, dan 40,75%; sedangkan polieugenol hasil sintesis dengan katalis BF_3 -dietileter memiliki urutan transpor Cr^{3+} , Cd^{2+} , dan Cu^{2+} dengan persen transpor masing-masing 15,68%; 10,70%; dan 5,69%.

SARAN

Teknik BLM (*Bulk Liquid Membrane*) yang dilakukan perlu dioptimalkan untuk memperoleh hasil pemisahan logam berat yang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P. W., 1997, *Kimia Fisika*, Jilid 2, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta
- Bartsch, R. A., and Way, J. D., 1996, *Chemical Separation With Liquid Membrane : An Overview*, American Chemical Society, Washington
- Bettie, A., 1998, *Polimerisasi Eugenol dengan Katalis BF_3 Dietileter dan Pemakaian Polieugenol sebagai Katalis Transfer Fasa*, Skripsi, FMIPA, UGM, Yogyakarta
- Brandrup, J. and Immergut, 1975, *Polymer Handbook*, Second Edition, John Wiley and Sons, New York
- Djunaidi, M. C., 2006, *Sintesis Polieugenol Sebagai Ekstraktan Selektif Logam Krom (III)*, Jurusan Kimia FMIPA UNDIP
- Cowd, M. A., 1991, *Kimia Polimer*, Penerbit ITB, Bandung
- Dean, J. A., 1976, *Lange's Handbook of Chemistry*, Third Edition, Mc. Graw Hill, New York
- Greenwood and Earnshaw, 1997, *Chemistry of The Element*, Second Edition, Butterworth, Heinemann, UK
- Handayani, W., 2001, *Sintesis Polieugenol dengan Katalis Asam Sulfat*, Jurnal Ilmu Kimia Dasar, FMIPA Universitas Jember, Volume 2, Nomor 2
- Hendayana, S., Kadarohman, A., Sumarna, AA., dan Supriatna, A., 1993, *Kimia Analitik Instrumen*, IKIP Semarang Press, Semarang
- Kumar, A. and R. K. Gupta., 1998, *Fundamentals of Polymers*, The Mc. Graw Hill Book Co, Singapore
- Misra, B. M., and Gill, J. S., 1996, *Supported Liquid Membranes In Metal Separation*, American Chemical Society, Washington
- Peterson, R. T., 1996, *Design of Macrocyclic Carriers for Liquid Membrane*, In *Chemical Separations with Liquid Membranes*, American Chemical Society, Washington DC
- Rosenthal, L. C., 1990, *A Polymer Viscosity Experiment with No Right Answer*, J. Chem. Educ
- Sastrohamidjojo, H., 2004, *Kimia Minyak Atsiri*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Young, R. J., and Lovell, P. A., 1991, *Introduction of Polymers*, Second edition, Chapman & Hall, London